

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра Оптики и биофотоники

**Исследование влияния области механической компрессии
кожной ткани *in vivo* на ее оптические и физиологические
свойства**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студентки 4 курса 434 группы
направления (специальности) 03.03.02 «Физика»,
Физический факультет

Кузнецовой Анны Дмитриевны

Научный руководитель
профессор, д.ф.-м.н.

Ю.П.Синичкин

Заведующий кафедрой
профессор, д.ф.-м.н.

В.В.Тучин

Саратов, 2016

Введение

Исследование влияния внешней механической компрессии на спектры диффузного отражения биотканей представляет интерес по нескольким причинам. Во-первых, метод отражательной спектроскопии в настоящее время является одним из наиболее развитых оптических методов *in vivo* исследований биологических тканей. Спектральный состав диффузно отраженного биологической тканью излучения несет информацию о структуре биоткани, количестве и кровенаполненности кровеносных сосудов, пространственном распределении хромофоров внутри биоткани и их концентрации, интенсивности происходящих в биологической ткани метаболических процессов. Во-вторых, во многих спектральных измерениях биотканей используются волоконно-оптические датчики, которые соприкасаются с поверхностью исследуемой биоткани, при этом происходит неконтролируемое надавливание датчиком на поверхность биоткани. В результате спектр диффузного отражения может неконтролируемым образом меняться в зависимости от величины механической компрессии, что является источником ошибок при анализе спектров. В-третьих, в отличие от локальной механической компрессии, создаваемой торцом волоконно-оптического датчика (площадь прилагаемого давления порядка нескольких мм^2), в результате чего в месте приложения компрессии в биоткани создается градиент показателя преломления, и этот объем среды выполняет роль линзы для распространяющегося в биоткани зондирующего света, при наложении механической компрессии на относительно большой участок поверхности биоткани (порядка нескольких см^2) сжатый объем биоткани представляет собой пространственно однородную среду без линзовых эффектов, в которой в отличие от области локальной компрессии характер распространения света меняется, что может проявиться в изменении формы спектра диффузного отражения. В-четвертых, в результате приложения внешней компрессии уменьшаются рассеивающие свойства биоткани, поэтому данный метод

является альтернативным методом управления оптическими параметрами биотканей широко используемому методу, основанному на внедрении в биоткань химических агентов. В-пятых, в настоящее время внешняя механическая компрессия используется как метод, позволяющий увеличить разрешение и контраст изображения при оптической когерентной томографии биотканей. Далее, метод компрессионного оптического просветления биотканей может быть реализован в приборном варианте, в частности, разработано устройство для просветления биотканей (tissue optical clearing device, TOCD). Наконец, механическая компрессия кожи позволяет оценивать содержание в ней хромофоров, поглощение которых в нормальных условиях завуалировано поглощением других хромофоров. Так, выдавливание крови из области приложения компрессии позволяет оценивать по спектрам диффузного отражения содержание в коже каротиноидов, а по спектрам флуоресценции содержание в коже меланина.

Несмотря на довольно большой объем публикаций, связанных с механической компрессией биотканей, приведенные в них результаты зачастую носят противоположный характер, что обусловлено, прежде всего, разными условиями наложения внешней компрессии (локальной или нелокальной) и разными геометриями детектирования отраженного биотканями света (с использованием волоконно-оптического датчика или без него). Кроме того, эффект влияния внешней компрессии на оптические свойства биоткани носит инерционный характер, поэтому результаты измерений зависят от времени задержки между наложением компрессии и контактом и измерениями.

Целью данной работы являлось исследование динамики изменения оптических свойств кожной ткани *in vivo* в процессе наложения и снятия внешней механической компрессии разной величины и разного размера области приложения внешнего давления. В качестве метода исследования был выбран метод отражательной спектроскопии.

Экспериментальные результаты. Для исследования временной динамики спектров диффузного отражения кожи разных добровольцев при наложении внешнего давления разной величины и после его снятия отраженный свет детектировался с помощью датчиков различного диаметра.

При использовании датчика 15.8 мм результаты эксперимента показали, что компрессия кожи приводит к уменьшению коэффициента отражения кожи всем спектральном диапазоне. Этот процесс происходит приблизительно в течение 4-6 минут. Помимо этого происходит уменьшение провала в области спектра 500-600 нм, где проявляются полосы поглощения гемоглобина. Количество вытесненной из объема компрессии крови зависит от величины приложенного давления.

После снятия внешней компрессии в течение нескольких секунд происходит резкое уменьшение коэффициента отражения кожи во всем спектральном диапазоне, при этом в области 500-600 нм вновь образуется провал. Восстановление всего спектра отражение в первоначальное состояние происходит в течение времени около 50 минут.

Такое поведение спектра диффузного отражения кожи обусловлено изменением рассеивающих и поглощающих свойств биоткани в условиях внешней механической компрессии. Основными хромофорами кожной ткани, определяющими спектр диффузного отражения кожи в видимом диапазоне спектра, являются пигмент меланин и гемоглобин [1]. Очевидно, что при наложении компрессии содержание меланина в коже не меняется, в то время как содержание крови и воды в кожной ткани может существенно изменяться, особенно при наложении на кожу больших давлений (порядка 100 кПа). Об этом свидетельствует и поведение провала в спектре отражения кожи в спектральной области 500-600 нм, обусловленного поглощением гемоглобина.

Параметром, которым можно количественно оценить содержание гемоглобина в кожной ткани, является индекс эритемы, который пропорционален площади над кривой оптической плотности кожи в данном диапазоне спектра, а форма спектра в этой области дает возможность оценить степень оксигенации гемоглобина.

При наложении внешней компрессии индекс эритемы уменьшается, что свидетельствует об уменьшении содержания крови в кожной ткани. Временная зависимость индекса хорошо аппроксимируется экспоненциальной функцией, при этом времена вытеснения (релаксации) составляют величины порядка 30 секунд. Количество крови, вытесненной из области компрессии, зависит от величины компрессии, при этом при давлении порядка 100 кПа кровь вытесняется полностью.

После снятия внешней компрессии происходит резкое увеличение содержания крови в объеме кожной ткани, которая подвергалась компрессии. В течение нескольких секунд индекс эритемы достигал величины, значительно превышающей индекс эритемы нормальной кожи (от двух до пяти раз). Восстановление кожной ткани в первоначальное состояние происходило в течение 20-50 минут в зависимости от величины компрессии.

Основные закономерности в изменении спектров отражения, отмеченные при использовании датчика 15.8 мм, проявляются и в случае использования датчиков 13.8 мм и 10 мм. Компрессия кожи приводит к уменьшению коэффициента отражения кожи во всем спектральном диапазоне. Причиной уменьшения коэффициента отражения в красной области спектра является уменьшение рассеивающих свойств кожи. Уменьшение коэффициента отражения происходит по экспоненциальному закону с характерными временами 57 – 92 секунд. Это время уменьшается с увеличением компрессии. Весь процесс стабилизации спектров происходит приблизительно в течение 4-5 минут. Помимо этого происходит увеличение коэффициента отражения в области спектра 500-600 нм, обусловленное

вытеснением крови из объема кожи, подверженного компрессии. Время вытеснения крови составляет величину порядка 12 – 25 секунд. Количество вытесненной из объема компрессии крови зависит от величины приложенного давления.

Особенностью применения датчика 3.2 мм являлось то, что даже вес коромысла, к которому подвешивался груз определенной массы (масса коромысла 100 г) создавал давление на кожу порядка 130 кПа.

При такой величине давления на кожу можно видеть монотонное уменьшение коэффициента отражения в красной области спектра, изменения в спектрах не столь существенны, как в случае датчиков с большой площадью приложения давления, и временные изменения в спектрах при наложении разной компрессии малы по величине. Скорее всего этот эффект обусловлен большой величиной давления, создаваемого грузом. В спектральной области 500-600 нм временные изменения коэффициента отражения зависят от кровенаполненности кожи без компрессии. При малом количестве крови коэффициент отражения монотонно уменьшается. При большей кровенаполненности кожи коэффициент отражения сначала увеличивается, что является следствием вытеснения крови из области компрессии, а затем уменьшается монотонно вследствие уменьшения рассеяния. При увеличении компрессии коэффициент отражения сначала увеличивался, а затем монотонно уменьшался вследствие вытеснения крови и включения механизма уменьшения рассеивающих свойств кожи. Увеличение компрессии кожи ведет к уменьшению времени вытеснения крови, при этом во всем диапазоне изменения давления кровь вытесняется полностью.

Заключение. По результатам экспериментальных данных можно сделать следующие выводы:

Наложение внешней компрессии приводит к уменьшению коэффициента отражения кожи человека *in vivo* в видимом и ближнем ИК диапазоне спектра. Уменьшается величина провала в спектральном диапазоне 500-600 нм.

Причинами спектральных изменений являются уменьшение рассеивающих свойств кожной ткани и уменьшение ее поглощения, обусловленного транспортом гемоглобина, содержащегося в крови, и воды.

Времена стабилизации спектров составляют величину порядка 3 – 5 минут, при этом уменьшение области компрессии приводит к уменьшению времени стабилизации.

При снятии внешней механической компрессии восстановление кожи происходит в течение времени порядка 40-50 минут, при этом в течение первых нескольких секунд происходит значительное увеличение содержания крови (гемоглобина) (в 2 – 5 раз по сравнению с кожей без компрессии), что может быть обусловлено резким вбросом артериальной крови в объем кожной ткани, находившейся в условиях внешней компрессии.

Поведение коэффициента отражения кожи в спектральной области 500 – 600 нм зависит от кровенаполненности кожи. При малом количестве крови ее вытеснение менее сказывается на спектре отражения и коэффициент отражения монотонно уменьшается. При большей кровенаполненности кожи коэффициент сначала увеличивается (уменьшение поглощения), а затем уменьшается (уменьшение рассеяния).

Количество воды, удаленной из кожи в результате внешней механической компрессии, зависит от величины приложенного давления. Так, при использовании датчика 10 мм с грузами, создаваемыми давлением на

кожу величиной 28 кПа, 100 кПа и 143 кПа, из кожи вытесняется вода в количестве 5%, 12% и 15%, соответственно.

Уменьшение размера области наложения компрессии приводит к уменьшению времени вытеснения крови из области компрессии (от 30 – 40 секунд для датчика 15.8 мм до 14 – 6 секунд для датчика 3.2 мм).

При уменьшении размера области приложения внешнего давления количество вытесненной воды увеличивается. Так, при использовании датчика 13.8 мм с грузом, создаваемым давлением на кожу 100 кПа, кожа теряет при компрессии 8% воды, а при использовании датчика 10 мм с грузом, создаваемым давлением на кожу 100 кПа, кожа теряет 12% воды. Использование датчика 3.2 мм с грузом, создаваемым давлением 376 кПа, содержание воды в коже уменьшается на 21%.